

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ ВЫПУКЛЫХ ТЕЛ

Мусин А.М.¹, Малкин А. И.², Князев С.Т.¹, Панченко Б.А.¹

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
проспект Мира, 19, Екатеринбург, Свердловская обл., 620002, Россия
тел.: (343) 375-48-48, e-mail: andrmm@uralweb.ru

² Роде и Шварц Рус. Улица Павловская, 7/1, Москва, Россия

Аннотация — В данной работе проведено исследование некоторых перспективных материалов для изготовления радиопоглощающих покрытий, в частности проведено сравнение магнитных и немагнитных материалов. Экспериментально определены электрофизические параметры материалов, приведены описание метода определения, и результаты. Вычислены значения радиолокационного коэффициента рассеяния проводящей сферы диаметром 150 мм и покрытием из исследуемых материалов толщиной 2 мм.

USING MATERIALS FOR FABRICATION MICROWAVE ABSORING COATS OF CONVEX BODIES

Musin A.M.¹ Malkin A.I.² Knyazev S.T.¹ Panchenko B.A.¹

¹ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin
pr. Mira, 19, Yekaterinburg, Sverdlovsk region, 620002, Russian Federation
ph.: 375-48-48, e-mail: andrmm@uralweb.ru

² Rohde&Schwarz Rus. Pavlovskaya st., 7/1, Moscow, Russia.

Abstract — In this work, new perspective materials for fabrication the microwave absorbing coats was researched, in particular magnetic and non-magnetic materials were compared. Electrophysical parameters of materials were experimental determined, the description of a method of determination and results were carried out. The values of normalized radar cross-section of a conduction sphere with coats were calculated. The diameter of a sphere 150 mm and thickness of coat – 2 mm.

I. Введение

В настоящее время одним из актуальных направлений в материаловедении является изготовление материалов для радиопоглощающих покрытий.

Благодаря развитию данного направления, имеется широкое разнообразие перспективных радиопоглощающих искусственных материалов и покрытий.

Отметим некоторые типы из них:

материалы и покрытия на основе нано-структур [1];

частотно-избирательные покрытия с металлическими вкраплениями [2, 3];

покрытия из материалов со сложным химическим составом [4].

Радиопоглощающие покрытия могут быть как однослойными, так и многослойными. Уровень поглощения в заданном диапазоне частот определяется толщиной каждого слоя и электрофизическими параметрами материалов этого слоя: диэлектрическая и магнитная проницаемость и тангенс угла диэлектрических и магнитных потерь.

В настоящей работе исследованы материалы на основе эпоксидной смолы. Преимущество данных материалов – это сравнительная простота их изготовления и возможность осуществлять «настройку» значения их электрофизических параметров путём вариации компонентов. Ограничения, обусловившие использование данных материалов – это отработанная технология их серийного производства, и применение недефицитных компонентов.

Для исследований взято 6 видов материалов, обозначим их номерами от 1 до 6. Материалы 1÷3 — магнитные материалы, 4÷6 — немагнитные. Ниже

будут приведены результаты экспериментального определения их электрофизических параметров, а также некоторые численные результаты расчёта характеристик рассеяния выпуклых тел с покрытием из данных материалов.

II. Параметры материалов и методика их измерения

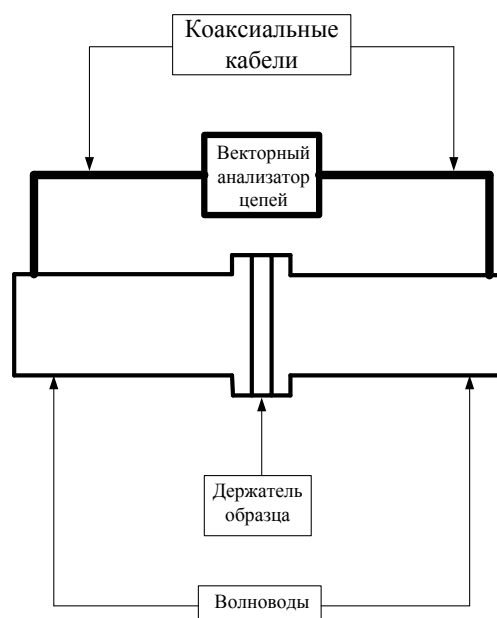


Рис. 1. Схема измерения параметров диэлектрика.

В основе экспериментального определения комплексной диэлектрической и магнитной проницаемостей лежит измерение S-параметров волноводной линии с исследуемым образцом и их пересчёт в комплексные значения проницаемостей. Для измерения S-параметров использован

векторный анализатор цепей «R&S ZVA24». Измерения проводились в диапазоне частот от 7,5 до 12 ГГц. Схема измерения представлена на рисунке 1. Для учета неоднородностей, вносимых волноводно-коаксиальными переходами, а также фазового набег в линиях передачи была использована возможность проведения векторной калибровки измерительной системы, для вывода измерительных плоскостей в область держателя образца. В качестве метода калибровки использовалась TRL техника [5]: проводились эталонные измерения S-параметров для случаев прохождения электромагнитной волны по волноводному тракту без держателя, отражения электромагнитной волны в месте держателя, и прохождения электромагнитной волны с держателем без образца. Вычисление значений диэлектрической и магнитной проницаемостей по измеренным S-параметрам проводились с помощью алгоритма Nicholson-Ross-Weir (NRW) [6], обеспечивающего одновременное вычисление как диэлектрической, так и магнитной проницаемостей.

Погрешность измерений определяется следующими факторами:

- погрешность измерения прибора, согласно паспортным параметрам, составляет не более 2% при измерении S-параметров;
- при измерении S-параметров отражённой электромагнитной волны во время калибровки разброс значений составляет около 0.15 дБ (не более 5%);
- величина шероховатости поверхности образцов материалов не более 0.2 мм;
- величина зазоров между образцами и стенками держателя в пределах 1 мм.

Измерено по 5÷7 образцов каждого материала, разброс параметров составил не более 10% для каждого материала. На рисунках 2-5 приведены результаты измерения электрофизических параметров, результаты измерения усреднены.

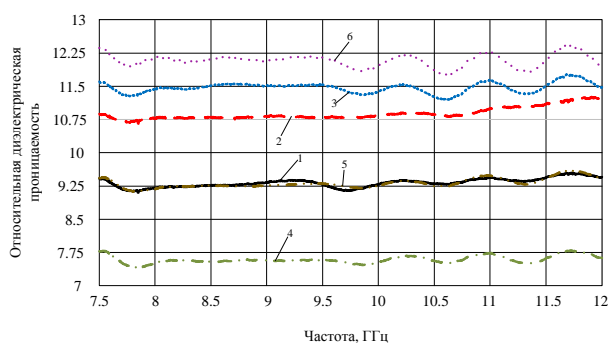


Рис. 2. Относительная диэлектрическая проницаемость материалов

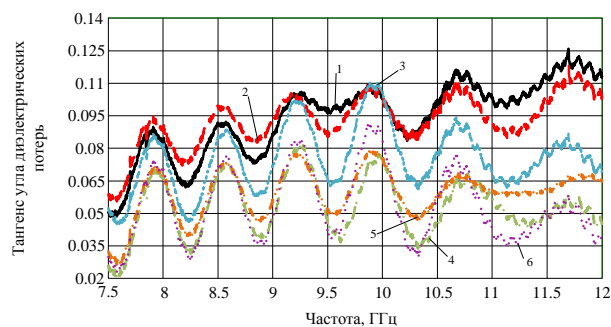


Рис. 3. Тангенс угла диэлектрических потерь материалов.

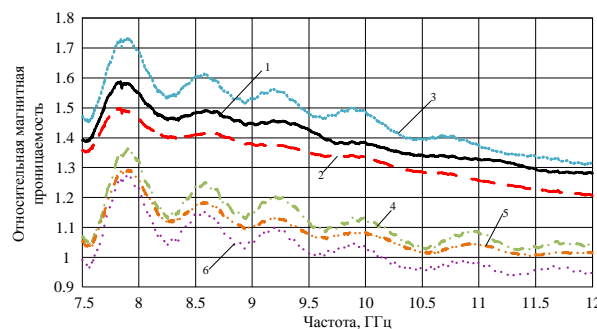


Рис. 4. Относительная магнитная проницаемость материалов.

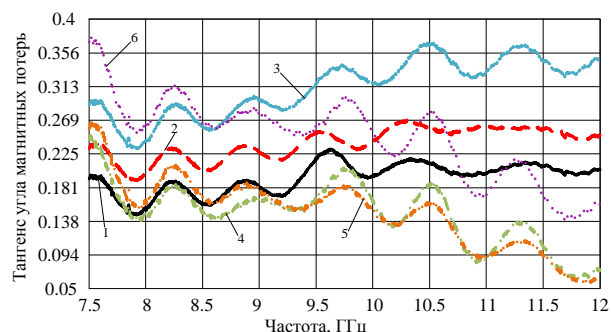


Рис. 5. Тангенс угла магнитных потерь материалов.

III. Отражение электромагнитных волн от выпуклых тел с покрытием

Критерием пригодности и эффективности радиопоглощающих покрытий является уменьшение относительной мощности отражённой электромагнитной волны от тела с покрытием по сравнению с телом без покрытия в заданном диапазоне частот. Величина, количественно характеризующая отражение электромагнитных волн от тела в направлении источника падающей волны, называется радиолокационным коэффициентом рассеяния.

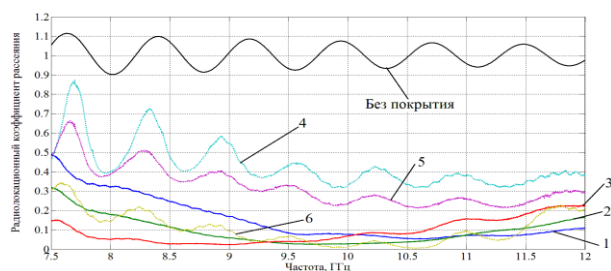


Рис. 6. Частотный график радиолокационного коэффициента рассеяния

В первом приближении выпуклое тело можно представить проводящей сферой с диэлектрическим покрытием. Для вычисления её радиолокационного коэффициента рассеяния использован аппарат тензорных функций Грина [7]. В работе приведены основные формулы и результаты расчёта для случая облучения электромагнитной волной с линейной поляризацией и основной поляризационной составляющей рассеянного поля. Радиолокационный коэффициент рассеяния определяется выражением:

$$\sigma_r = \frac{1}{(k_0 r_1)^2} \cdot \left| \sum_{n=1}^{\infty} [(-1)^n \cdot (2n+1) \cdot (M_n - N_n)] \right|^2, \quad (1)$$

где $k_0 = 2 \cdot \pi / \lambda_0$ — волновое число в свободном пространстве, λ_0 — длина волны в свободном пространстве, r_1 — радиус металлической сферы, M_n и N_n — коэффициенты, определяемые структурой сферического тела.

В работе для сравнения проведён расчёт частотной зависимости радиолокационного коэффициента рассеяния проводящей сферы с покрытием и без неё. Для примера взята проводящая сфера с однослойным покрытием. Радиус сферы — 75 мм, толщина покрытия — 2 мм. Результаты расчёта приведены на рисунке 6. Номерами обозначены графики радиолокационного коэффициента рассеяния для случая соответствующих материалов.

IV. Заключение

Радиолокационный коэффициент рассеяния сферы с покрытием толщиной 2 мм из магнитных материалов и немагнитного материала под номером 6 достигает значений менее 0,1, наибольшая частотная полоса по уровню не более 0,1 у магнитных материалов, причём диапазон частот не расширяется и не сужается, перемещается в область низких частот.

Для случая с немагнитными материалами наблюдается уменьшение значения радиолокационного коэффициента рассеяния, частотная зависимость имеет колебательный характер.

В дальнейшем планируется исследование многослойного покрытия из этих материалов в частности для случая облучения волной с круговой поляризацией, а также экспериментальное измерение радиолокационного коэффициента рассеяния выпуклых тел с покрытием.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект №14-19-01396).

V. Литература

- [1] Nikolaychuk G., Ivanov V., Yakovlev S. radar absorbing materials based on nanostructures // electronics: Science, Technology, Business. 2010. No. 1. p. 92-95.
- [2] Radiation and scattering of electromagnetic. The monograph / Under the editorship of V. A. Obukhova. — M.: Radio Engineering, 2008. — 208 p.: Il.
- [3] Chakravarty S., Mittra R. Application of a microgenetic algorithm (MGA) to the design of broad-band microwave absorbers using multiple frequency selective surface screens buried in dielectrics // IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, VOL. 50, NO. 3, MARCH 2002
- [4] Gershenovich V. V., Razumovskaya, O. N., Shilkina L. A., Reznichenko, L. A., Sidorenko E. N., Pavlenko A. V., I. I. Nathan Absorption of microwave energy in solid solutions of the system $\text{PbTiO}_3\text{—PbZrO}_3\text{—PbNb}_{2/3}\text{Mg}_{1/3}\text{O}_3$ —

PbGeO_3 // Construction from composite materials 2010 No. 1. p. 64-73.

- [5] Hiebel M. Fundamentals of Vector Network Analysis: Hiebel Michael. Edition 5 / Rohde-Schwarz 2008. p 420.
- [6] Kuek C. Measurement of Dielectric Material Properties: application note / Rohde-Schwarz 2012. p. 36.
- [7] Panchenko B.A. Scattering and absorption of electromagnetic waves times, but then-neous spherical bodies. Monograph // M.: Radio Engineering, 2012. 292 p.